Ueber das

thermo-electrische Verhalten gedehnter Drähte.

Inaugural-Dissertation,

der mathemathischen und naturwissenschaftlichen Facultät

der Kaiser Wilhelms-Universität

Strassburg

zur Erlangung der Doctorwürde

vorgelegt von

Emil Cohn

aus Neustrelitz.

Neustrelitz.

Druck von G. F. Spalding & Sohn.

1878.

36

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547015_0058

Die nachfolgende Untersuchung wurde im physikalischen Laboratorium hieselbst ausgeführt. — Es sei mir gestattet, Herrn Professor Kundt für die freundliche Theilnahme, die er derselben gegönnt und mir jederzeit durch Rath und That bewiesen hat, an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Strassburg i. E. den 2. Mai 1878.

Ueber das thermo-electrische Verhalten gedehnter Drähte.

Eine ausgedehnte Untersuchung „on the electro-dynamic qualities of metals", die W. Thomson in den Philosophical transactions für das Jahr 1856 veröffentlichte, enthält u. A. Versuche über die Thermoströme zwischen Drähten desselben Metalls, deren einer durch angehängte Gewichte gespannt ist*). Der zu untersuchende, vorher ausgeglühte Draht hing frei an einem hölzernen Arm; angelöthete Drähte von demselben Material führten zum Galvanometer; die Contactstellen wurden abwechselnd durch Anlegen heisser Platten auf etwa 100° erwärmt. Wenn nöthig wurde der Effect durch Vermehrung der Contactstellen und Erwärmung der alternirenden vervielfacht, in derselben Weise, wie dies bei der Thermosäule geschieht.

Bei solcher Anordnung der Versuche ergab sich ein Strom, der durch die erwärmte Löthstelle

vom ungespannten zum gespannten Eisen,

und vom gespannten zum ungespannten Kupfer und Platin floss. —

Ferner fand Thomson, dass, wenn Eisen- und Platindrähte durch starke Belastungen eine

*) Phil. transact., vol. 146, p. 711 ff.

permanente Verlängerung erlitten hatten und dann wieder entlastet wurden, der Strom nicht verschwand, sondern die Nadel über die Ruhelage hinausging und nun einen Strom von entgegengesetzter Richtung anzeigte. Er schliesst daraus, dass für diese Substanzen die Wirkung des augenblicklichen Zuges und die der permanenten Deformation entgegengesetzter Art seien, — und er giebt zugleich seiner Ueberzeugung Ausdruck, dass diese Regel allgemein gelte*). —

Der erste Theil dieser Versuche wurde 1867 von Le Roux in veränderter Form wiederholt**). Die Spannung der in horizontaler Lage gehaltenen Drähte geschah durch eine Zugschraube, der Contact befand sich in einem Paraffinbad von 200—210°. Le Roux fand u. A. einen Strom vom — temporär — gedehnten zum nicht gedehnten Metall: bei Eisen („fil du commerce“) und Platin; — vom nicht gedehnten zum gedehnten: bei Kupfer.

In den Beobachtungen von Thomson und von Le Roux widersprechen sich also die für Eisen und Kupfer erhaltenen Resultate. Der Letztere spricht die Vermuthung aus, dass die Ursache in der Verschiedenheit der angewandten Temperaturen liegen möge. —

Mit der Absicht, den hervorgehobenen Widerspruch aufzulösen, wurde die vorliegende Arbeit

*) l. c. p. 713.

**) Recherches s. l. courants thermo-électriques. Ann. de chim. et de phys. (IV.) t. 10 p. 226 ff.

unternommen. Dieser Zweck wurde zum Theil erreicht; gleichzeitig aber zeigte sich eine Reihe unerwarteter Erscheinungen, die bald das Interesse ausschliesslich in Anspruch nahmen.

Anordnung der Versuche.

Zu der Mehrzahl der Versuche diente der folgende Apparat (Fig. A): Die Enden des zu prüfenden, ca. 1,6 Meter langen Drahtes waren auf einer Strecke von ca. 5 cm auf Eisenplatten gelöthet; mit diesen zusammen, und je mit einer dünnen Bleiplatte bedeckt, wurden sie durch Zugschrauben zwischen eisernen Backen a und b fest eingeklemmt. Von letzteren befand sich das eine Paar, a, fest an dem starken Holzgerüst eines Monochords; das zweite, b, bildete das Ende eines Eisenstabes c, der mittels der Zugschraube e um eine stählerne Axe bei d gedreht werden konnte. Durch Anziehen der Schraube e wurde der Draht gespannt. Die Verlängerungen, die er dabei erlitt, wurden mit Spiegel und Scale beobachtet. Zur Bequemlichkeit des Beobachters, der zugleich die Ausschläge des Galvanometers mittels eines Fernrohrs ablesen musste, war die Methode der objectiven Darstellung gewählt. Dem Spiegel f gegenüber, der nahe dem Drehpunkt am Hebel c befestigt war, befand sich die Lichtquelle g in einem Gehäuse mit rechteckigem, horizontalem Spalt; über Letzteren war der Länge nach ein Haar gespannt, das als Index diente. Eine

Convexlinse h zwischen Spiegel und Spalt entwarf ein Bild des Letzteren, das, vom Spiegel reflectirt, in passender Entfernung auf einer vertical gestellten Scale i aufgefangen werden konnte. Nach rohen Messungen betrug die Länge des Hebelarmes bd: 8 cm; die Drahtlänge ab in verschiedenen Versuchen zwischen 160 und 170 cm; die Entfernung fi zwischen Scale und Spiegel zwischen 70 und 100 cm. Die Verschiebungen des Lichtzeigers auf der Scale im Verlauf eines Versuchs umfassten im äussersten Fall 20 cm, in der Regel nur 10 cm. — Aus diesen Zahlen ergiebt sich, dass die genannten Verschiebungen mit grosser Annäherung den Verlängerungen des Drahtes proportional gesetzt werden dürfen. Wichtiger für die folgenden Versuche ist, dass dieselben ein Mittel geben, dieselbe Drahtlänge genau zu reproduciren. — Es erschien zweckmässig, den Hebel gegen den Schraubenkopf nicht durch eine Feder anzupressen, sondern hierzu die Elasticität des gespannten Drahtes selbst zu benutzen. Solange dann beim Lösen der Schraube der Lichtzeiger ihren Bewegungen folgte, hatte man die Gewissheit, dass der Draht noch gespannt war, und dass man folglich seine wirkliche Länge, nicht nur die Entfernung seiner Endpunkte, mass. Umgekehrt durfte freilich, wegen der Reibung zwischen den Theilen des Apparats, aus dem Stehenbleiben des Zeigers nicht auf völlige Entspannung des Drahtes geschlossen werden. War diese beabsichtigt, so half man mit der Hand

nach, bis der Draht schlaff hing. Der Punkt, wo die völlige Entspannung eintrat, blieb dabei innerhalb gewisser Grenzen unsicher, jedoch ohne Schaden für die nachstehenden Versuche.

Der ausgespannte Draht war an zwei Stellen mit Heizvorrichtungen, k_1 und k_2, umgeben. Er lief dort durch je ein 1 cm weites und ca. 12 cm langes Glasrohr; auf diesem war ein kürzeres Glasrohr von ca. 4,5 cm Durchmesser mittelst straff anschliessender Korke befestigt, die ausserdem noch von je einem engen Rohr durchbohrt waren. Indem man mittelst der Letzteren einen Dampfstrom durch das äussere Rohr leitete, konnte man den innern Raum nahe auf der Temperatur des Dampfes erhalten, ohne dass der dort befindliche Draht der Einwirkung der Feuchtigkeit ausgesetzt war. — Zur Erwärmung diente regelmässig Wasserdampf; nur bei einem Versuch wurde Anilin benutzt und dadurch eine Temperatur von ca. 170° im innern Rohr erzielt. —

Innerhalb dieses Rohres berührten sich die Drähte gleichen Materials, deren einer der Spannung unterworfen werden sollte. Die Contacte wurden durch Löthung oder mittelst Quecksilber hergestellt; im letzteren Fall waren die Drähte lose durch eingeschobene Korke geführt. Es wurde dafür gesorgt, dass der Contact ausschliesslich an der Löthstelle, resp. im Quecksilber, stattfand, — wenn nöthig, indem über die Enden der ungespannten Drähte kurze Glasröhren geschoben wurden.

An die nicht gespannten Versuchsdrähte l schlossen sich Kupferdrähte m, die zum Galvanometer führten. Um jede Temperatur-Differenz dieser Contactstellen zu verhüten, wurden beide in ein gemeinsames Bad n von Terpentinöl getaucht. Bei o befand sich ein Spiegelgalvanometer mit astatischem Nadelpaar, bei p ein Stromunterbrecher. — Die Ausschläge des Galvanometers wurden in üblicher Weise mittelst Fernrohr und Scale beobachtet. Sie stiegen bei einer Entfernung von ca 3 m zwischen Spiegel und Scale nie bis zu 200 mm an, so dass sie unbedenklich den Stromesintensitäten proportional gesetzt werden dürfen. —

Mit den soeben beschriebenen Versuchen wechselten andere ab, in denen der Draht, frei hängend, durch angehängte Gewichte gespannt wurde. Der Apparat wurde in verticale Stellung gebracht, die Schraube e nebst Zubehör entfernt. Alles Uebrige blieb ungeändert.

Im Anfang wurde bei einer grossen Zahl von Versuchsreihen noch eine dritte Art der Spannung benutzt: der horizontal ausgestreckte Draht lief über eine Rolle und endete in einer Schleife, in welche Gewichte eingehängt wurden. Während aber die beiden ersterwähnten Anordnungen durchaus übereinstimmende Resultate ergaben, zeigten sich hier Abweichungen, die sich aus einer Reibung des Drahtes auf der Rolle und der Letzteren auf ihrer Axe erklären liessen. Nachdem diese Einflüsse direct nach-

gewiesen waren, wurde die Methode verlassen, und die so erhaltenen Versuchsreihen verworfen.

Ergebnisse der Beobachtungen.

In der durch Fig. A veranschaulichten Weise ist ein Stromkreis gebildet aus drei Stücken eines harten Eisendrahtes von 0,6 mm Durchmesser, die in k_1 und k_2 an einander gelöthet sind, nebst Galvanometer und Zuleitungsdrähten. Der mittlere, zwischen a und b ausgestreckte Draht ist vorgängig mit der höchsten Spannung in Anspruch genommen, die er bei dem folgenden Versuche erleiden soll, — so dass bleibende Deformationen während des Letzteren nicht mehr eintreten — und wieder entspannt.

Wird dann die Contactstelle k_2 auf eine constante Temperatur von ca. 100° gebracht, und der mittlere Draht durch Anziehen der Schraube gespannt, so weicht sofort die Nadel des Galvanometers aus in dem Sinne, der — wie in den Versuchen von Le Roux — einen Strom von gedehnten zum nicht gedehnten Metall (durch die erwärmte Contactstelle) anzeigt, und nimmt nach einigen Schwingungen einen festen Stand ein. (Dieser ist im folgenden stets gemeint, wo von „Ablenkungen“ oder „Ausschlägen“ die Rede ist.) — Erhöht man die Spannungen allmählich in messbarer Weise, so erhält man eine Reihe entsprechender, stets wachsender Ablenkungen der Magnetnadel. Hat man die grösste Spannung erreicht, und geht

nun denselben Weg zurück, so kehrt auch die Nadel um. Ihre Ausschläge stimmen aber nicht mit denen überein, welche vorher für dieselben Spannungen erhalten wurden; sie sind vielmehr nach dem Punkte hin, der der Spannung Null entspricht, verschoben. Erst wenn man zur völligen Entspannung zurückgekehrt ist, hat auch die Nadel die frühere Stellung wieder eingenommen. Jede Wiederholung des Versuchs — wann und mit welchen Zeitintervallen zwischen den einzelnen Beobachtungen man sie auch anstellen mag — liefert wiederum die erste Zahlenreihe für die wachsenden, die zweite für die abnehmenden Spannungen.

Dies zeigen die folgenden — aus einer sehr grossen Zahl ähnlicher herausgegriffenen — Versuchsreihen, in denen die erste Spalte die Ablesungen (x) an der verticalen Scale enthält, während die folgenden in mm der horizontalen Scale die zugehörigen Ausschläge (y) des Galvanometers geben. Grössere x zeigen kleinere Spannungen an, grössere y bedeuten stärkere Ströme vom gespannten zum nicht gespannten Eisendraht.

Ia.

x	y	
38	249.5	249.5
34	264	263.7
30	271.5	271.2
26	283.5	282.7
30	262	260.5
34	253.7	252
38	249.5	248

Die erste dieser Beobachtungsreihen ist dargestellt in Fig. 1a, in der der Pfeil angiebt, in welcher Reihenfolge die Ausschläge durchlaufen werden. Abscissen sind die Grössen (38—x), die — nach den Angaben p. 9 und 11 — den Verlängerungen proportional sind. Als Ordinaten sind die Grössen (249.5 — y) gezeichnet, so dass der absolute Werth derselben ein Mass der durch die temporäre Dehnung veranlassten Ströme ist, und ihr negatives Vorzeichen ausdrückt, dass diese Dehnung einen vermehrten Strom vom gespannten zum ungespannten oder einen verminderten Strom vom ungespannten zum gespannten Draht zur Folge hatte*).

Es werde der Kürze wegen die gebrochene Linie, welche die durch die Beobachtung gegebenen Punkte verbindet, als „Curve“ und derjenige Theil derselben, der die Beobachtungen von der Spannung Null zur Maximalspannung darstellt, als der „aufsteigende“, der andere als der „absteigende Zweig“ bezeichnet. Es heisse ferner das Gebiet der positiven Ordinaten, sowie die Richtung, in welcher sie wachsen, „positiv“.

Dehnt man die Versuchsreihen bis zu stärkeren Spannungen aus, so tritt eine neue Erscheinung hinzu. Ein Versuch, mit demselben Draht unter denselben Umständen ausgeführt, ergab:

---

*) Ein Mass der Stromesintensität selbst wäre (249.5 — y) nur dann, wenn für die Spannung 0 (x = 38) der Strom ebenfalls = 0 wäre, was im Allgemeinen nicht der Fall ist. (vergl. p. 5 und unten p. 25 f.)

Ib.

x	y		
38		249	248.5
34		259	258
30		264	263.5
26		272	270.2
22	292	291	290
26	267.5	266	
30	251	249.5	
34	248.5	247.5	
38	249	248.5	

ein späterer, bei noch weiter gesteigerten Spannungen:

Ic.

x	y	
21	205	206
19	202	201.5
17	196.5	197
15	196.5	197
13	196	196.3
11	190	190.5
9	181	181
7	170	170
5	158.7	158.7
3	146.3	146.3
5	159.5	159.7
7	172	172.7
9	184	184.5
11	195	196
13	205	205.5
15	212	212.5
17	213.3	214
19	209	209.7
21	206	206

Die Curven mit entsprechendem Index stellen je eine der Beobachtungsreihen dar. In Fig. 1b sind die Coordinaten, wie oben, (38—x) und (249—y). Bei dem Versuch 1c dagegen wurde die andere Contactstelle (k_1) erwärmt, auch war die Scale vorher verschoben worden; dem entsprechend sind als Abscissen die Werthe von (21—x), als Ordinaten (y—206) gezeichnet.

Während in Fig. 1a beide Zweige in Curven von ziemlich gleichmässiger Krümmung verliefen, wechseln hier im aufsteigenden Zweige Strecken stärksten Abfalles mit solchen kaum merklicher Neigung. Noch complicirter gestaltet sich der absteigende Zweig. Er schneidet bereits bei einer gewissen Spannung die Abscissenaxe, tritt in das positive Gebiet ein, erreicht dort ein Maximum, ändert seine Richtung und kehrt so zum Ausgangspunkt zurück. — Geht man also z. B. in Fig. 1c von der Spannung 4 zu 0 über, und von da zu 4 zurück, so ändert sich während dieser Zeit der Strom fortwährend im gleichen Sinne.

Ein anderes Stück desselben Materials war zwei Wochen früher in verticaler Lage der Spannung durch angehängte Gewichte unterworfen worden. Hier ein Theil der Beobachtungen (die erste Spalte giebt die Gewichte in Kgr.):

II.

	y				
Galvan. offen.	224				
25	266	270	265	265.5	269
20	246	250	245	245.5	249
15	229	231.5	227	228	230.5
10	215	215	212	213.5	214.5
5	212	113	210	209.5	211
0	218	220	214	213.5	217
5	227.5	229	224	225	227
10	228	229	225	225.5	229
15	233	234	231	233	235
20	250	248.5	247	249	251
25	270	267.5	266.5	269	269.5
Galvan. offen.	229	224.5	224.5	226	226.5

Die Zahlenreihen zeigen nicht dieselbe gute Uebereinstimmung, wie die früheren; es kommen Differenzen zwischen entsprechenden Beobachtungen bis zum Betrage von 6,5 Scalentheilen vor. Die letzte Zeile, welche die Ruhelage der Nadel (bei geöffnetem Stromkreise) angiebt und Differenzen von gleicher Grössenordnung aufweist, lässt die Ursache — oder doch eine der Ursachen — erkennen. Das Wesen der beobachteten Erscheinungen wird durch diese Störungen nicht verdeckt; man erkennt das deutlicher, als aus den Zahlen selbst, durch eine Vergleichung der Fig. 2a und 2b, welche die letzte Beobachtungsreihe, — während welcher zufällig keine merkliche Verlegung der Ruhelage stattgefunden hat, — resp. die Mittel aller fünf Reihen darstellen. Beide Curven zeigen eine

völlige Uebereinstimmung in allen charakteristischen Eigenschaften. Beide aber gleichen auch in ihrem Verlaufe auf das genaueste der Fig. 1c, die aus Beobachtungen ganz anderer Art erhalten wurde.

Wie sich hier die Methode der Spannung als unwesentlich erweist, so haben andere Versuche gelehrt, dass auch die Anordnung der Contacte zwischen den gespannten und den ungespannten Theilen des Drahtes ohne allen Einfluss ist. —

Ganz analog dem harten Eisendraht verhält sich harter Stahldraht: Vergrösserte Spannungen haben verstärkte Ströme vom gespannten zum ungespannten Drahte zur Folge; auch hier erhält man für dieselbe Spannung verschiedene Ausschläge, je nachdem man dieselbe in einer Reihe aufsteigender oder absteigender Spannungen erreicht; auch hier sind die letzteren Ausschläge gegen die ersteren in positiver Richtung verschoben; endlich ändert auch hier, nachdem man hohe Spannungen hat wirken lassen, der absteigende Zweig beim Durchlaufen kleiner Spannungen seine Richtung. — Nur quantitativ zeigt sich eine Verschiedenheit: die Differenzen zwischen den beiden Zweigen sind merklich kleiner als beim Eisen.

Es möge genügen, eine Beobachtungsreihe anzuführen:

Englische Claviersaite von 0,44 mm Durchmesser, mittelst Hebel und Schraube gespannt. Löthstelle k_2 erhitzt.

III.

x	y
40	164
38	164.7
36	165.5
34	170
32	175
30	179
28	183
26	188.5
24	194.5
22	202
20	210
22	199.7
24	190
26	181.5
28	174
30	168
32	164
34	162
36	163
38	163.5
40	164

Fig. 3 ist die zugehörige Curve; ihre Coordinaten sind (40—x), (164—y).

Für einen zweiten Stahldraht — Nürnberger Claviersaite von 0,54 mm Durchmesser — gelang es erst bei Anwendung der höchsten erreichbaren Spannungen, eine Abweichung der beiden Zweige sicher nachzuweisen.

Dieselben Eisen- und Stahldrähte zeigen ein völlig verändertes Verhalten, nachdem man sie zur Rothgluth erhitzt und dadurch weich gemacht hat.

Eisendraht, ausgeglüht, durch Hebel und Schraube gespannt; Löthstelle k_1 erhitzt:

IV.

x	y	
37	203.3	203.5
35	204	204.3
33	207.7	208
31	213.5 213	213
33	215.5 215	
35	209 209	
37	203.3 203.5	

In Fig. 4: (37—x), (y—203,4)

Derselbe Draht, stärker gespannt:

IVa.

x	y	
18	172	171.5
17	171.3	171
16	172	171.7
15	179	178.5
14	192.7	192.5
13	203.3	202.7
12	207.3 206	205
13	211.7 210	
14	209.5 208.3	
15	197.3 196.5	
16	184.3 183	
17	174.7 173.7	
18	172 171.5	

In Fig. 4a: (18—x), (y—172).

Derselbe Draht noch stärker gespannt; die verticale Scale verschoben; Löthstelle k_2 erhitzt:

IVb.

x	y
23	261
22	263.3
21	266
20	263.5
19	251.3
18	230.7
17	215.7
16	214.3
15	216.5
14	219.5
15	214
16	208.5
17	208
18	222
19	241.7
20	255
21	261.3
22	263
23	263

In Fig. 4b: (23 — x), (261 — y).

Bei mässiger Spannung entsteht hier — wie in Thomson's Versuchen — ein Strom vom ungedehnten zum gedehnten Metall. Der absteigende Zweig weicht wiederum von dem aufsteigenden nach der positiven Richtung hin ab, — die hier aber zugleich die der höheren Spannungen ist. (Fig. 4.) — Unterwirft man den Draht starken Spannungen, so compliciren sich auch hier die Erscheinungen, und in noch höherem Grade, als bei den harten Drähten. Beide Zweige ändern die Richtung im Anfang ihres Verlaufs, der aufsteigende bei kleinen, der absteigende bei grossen Spannungen. (Fig. 4a.) — Bei

stärksten Spannungen tritt noch eine zweite Umkehr des aufsteigenden Zweiges hinzu. (Fig. 4b.)

Ganz Aehnliches gilt für weichen Stahldraht; es wird daher genügen, zwei Curven zu geben, die zugleich geeignet sind, nochmals die Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der verschiedenen Versuchsanordnungen zu zeigen. Fig. 5a stellt eine Beobachtungsreihe dar, die mittelst der Anordnung A erhalten wurde, Fig. 5b eine solche, die sich mit dem vertical gestellten Apparat bei Anwendung spannender Gewichte ergab.

Da die Hauptrichtung des Stromes für harte und weiche Drähte sich als entgegengesetzt erwiesen hatte, wurde eine Partie des in beiden Zuständen bereits untersuchten Eisendrahts zuerst ausgeglüht, dann durch das Drahteisen gezogen: Fig. 6 stellt den sehr complicirten Verlauf der Beobachtungen dar. Keine der beiden Richtungen ist mehr bevorzugt.

Ausser Eisen und Stahl wurde noch eine Reihe anderer Substanzen geprüft, in der Absicht, auch bei ihnen eine Divergenz des aufsteigenden und des absteigenden Zweiges nachzuweisen. Bei der grossen Mehrzahl derselben fanden sich jedoch die thermo-electrischen Effecte der Spannung überhaupt so klein, dass auf eine Untersuchung in dieser Richtung verzichtet werden musste. — Eine Ausnahme machten nur Platin und Palladium. Bei der letzteren Substanz sind die durch die Dehnung erzeugten

Thermoströme äusserst intensiv, — stärker, als bei irgend einem der übrigen untersuchten Metalle; die Differenzen zwischen den beiden Zweigen dagegen sind so gering, dass sie der Grenze der Beobachtungsfehler sehr nahe kommen. — Da — wie aus Späterem erhellen wird — der Nachweis derselben ein besonderes Interesse bot, wurde eine beträchtliche Anzahl von Beobachtungsreihen mit diesem Material angestellt. — Ich gebe hier einige derselben:

Palladiumdraht von 0,6 mm Durchmesser, durch Hebel und Schraube gespannt. Löthstelle k_2 erhitzt.

x	y						
12	474	—	—	476	477	477	479
14	419	420	422	422	424	425	425
16	372.5	—	—	376	376.5	378	—
14	425	424	425.5	426	428	428	427

ferner:

x	y			
10	502	499	—	—
12	447	445	445	446
13	—	417.5	—	—
14	394	394	—	—
15	374	—	—	—
14	397	395	—	—
13	—	422	—	—
12	450	449	449	449
10	499	—	—	—

Wie man sieht, verhält sich das Palladium qualitativ wie harter Eisen- oder Stahldraht: der Strom fliesst vom gedehnten zum ungedehn-

ten Metall, und der absteigende Zweig liegt — wie stets — auf der positiven Seite des aufsteigenden. Die Differenzen sind jedoch äusserst klein — und dies fällt um so schwerer ins Gewicht, als die Grenze der möglichen Beobachtungsfehler hier weiter gesteckt werden muss, als bei den früher mitgetheilten Versuchen. Denn bei dem raschen Ansteigen des Thermostromes — z. B. um 50 Scalentheile zwischen 12 und 10, d. h. für eine Verschiebung des Lichtzeigers um 2 cm — musste sich bereits ein sehr kleiner Einstellungsfehler an der verticalen Scale bemerkbar machen.

In hohem Grade störend wirkten ferner die Contactstellen Palladium-Kupfer, die sich gegen ungleichmässige Erwärmung so empfindlich zeigten, dass eine grosse Zahl von Beobachtungsreihen verworfen werden musste. — Alle überhaupt brauchbaren Versuchsreihen, zu verschiedenen Zeiten und mit Drähten von verschiedener Dicke angestellt, haben das vorstehend mitgetheilte Resultat ergeben. Es ist aber nicht gelungen, solche Reihen zu erhalten, die dasselbe besser, als die mitgetheilten, zur Evidenz brächten.

Platindraht von 0,55 mm Durchmesser gab Ströme vom gedehnten zum nicht gedehnten Metall bis zum Betrage von 30 Scalentheilen. Abweichungen der beiden Zweige konnten nicht constatirt werden; sie steigen also, wenn vorhanden, bei weitem nicht zu der Höhe an, die sie bei Eisen- und Stahldrähten erreichen.

Bei allen jetzt noch zu erwähnenden Substanzen musste ich mich wegen der Kleinheit der beobachteten Effecte darauf beschränken, die Richtung des Thermostromes festzustellen.

Dieselbe fand sich für Kupfer: vom gedehnten zum ungedehnten Draht, — übereinstimmend mit Thomson's und im Widerspruch mit Le Roux's Versuchen. Das gleiche Resultat gaben: Drähte von 0,56 und solche von 1,1 mm Durchmesser; ferner: käuflicher, weicher, — durch Ziehen gehärteter, — durch Glühen und Ablöschen weich gemachter Draht. Mit Rücksicht auf die Vermuthung von Le Roux (s. p. 5) wurde endlich noch ein Versuch bei 170° angestellt — mit demselben Erfolge. Die abweichenden Beobachtungen Le Roux's sind also, soweit sie das Verhalten des Kupferdrahtes betreffen, nicht erklärt. — Ausserdem wurden noch Silber (Durchmesser: 0,35 und 0,8 mm), Neusilber (Durchmesser: 0,8 mm) und Zink (Durchmesser: 0,86 mm) untersucht. Stromrichtung: vom gedehnten zum nicht gedehnten Silber und Neusilber, — vom nicht gedehnten zum gedehnten Zink, — wie zum Theil bereits Le Roux fand. Von den zuletzt erwähnten Versuchen, bei denen es sich nur um die Richtung des Stromes handelte, ist ein Theil mit Rolle und Gewichten ausgeführt, deren Anwendung hier kein Bedenken haben konnte.

Discussion der Beobachtungen.

Der Einfachheit wegen ist im Vorstehenden angenommen, dass man die Spannungen, von Null bis zu einem vorher bereits angewandten Maximum wachsen lasse, dann zu Null zurückkehre, und diesen Cyclus wiederhole. Geht man statt dessen von einer beliebigen Spannung a aus, schreitet bis zu einer beliebigen Spannung b — unterhalb jenes Maximums — fort, kehrt zu a zurück, und wiederholt diese Operationen, so vereinigen sich beide Curvenzweige jetzt selbstverständlich schon in a und b. Gleichzeitig ändern aber auch die zwischenliegenden Punkte ihren Ort; die ganze Curve zieht sich zusammen.

Das allgemeine Resultat der Beobachtungen lautet daher:

„Die Intensität — als eine durch Null hindurch veränderliche Grösse betrachtet — des Thermostromes zwischen gedehnten und ungedehnten Drähten desselben Metalls hängt — abgesehen von allen permanenten Eigenschaften derselben — nicht nur von der gegenwärtigen Spannung der ersteren ab, sondern ausserdem — in sehr verschiedenem Grade je nach dem benutzten Material — von den oberen und unteren Grenzen, zwischen denen seit der letzten völligen Entspannung die Spannungen variirt haben. — Bestimmend ist jedoch nur die Reihenfolge, in der diese Spannungen wirkten, nicht die Zeit, vor welcher oder während welcher dies geschah. — Der Sinn dieser Abhängigkeit ist, im Bereich der Beobachtungen, stets derselbe, und zwar so, dass, wenn man sich ein Thermo-Element gebildet

denkt aus zwei gleichen Drähten, durch gleiche Gewichte gespannt, deren einer, α, zuletzt vorher ein grösseres, deren anderer, β, ein kleineres Gewicht getragen hat, — der Strom jedesmal von β nach α fliesst. —

Bei Eisen und Stahl können die vorangegangenen Spannungen selbst den Sinn beeinflussen, in dem sich der Thermostrom bei zu- oder abnehmender Spannung ändert. Von einer bestimmten Richtung desselben kann daher bei diesen Materialien in strenger Bedeutung nicht gesprochen werden. Versteht man darunter die Richtung des Stromes, der bei den ersten schwachen Dehnungen entsteht, so ist sie entgegengesetzt für die harten und weichen Drähte, — und daraus erklärt sich der Widerspruch zwischen den Beobachtungen von Thomson und denen von Le Roux."

In der Einleitung wurde ein Einfluss erwähnt, den nach Thomson's Beobachtungen eine vorhergegangene permanente Verlängerung des Drahtes auf alle späteren Versuche mit demselben Material ausübt. Ich habe es absichtlich vermieden, über diesen Gegenstand etwas auszusagen; denn meine eigenen Versuche erscheinen, obwohl sie den Thomson'schen nicht widersprechen, in dieser Frage nicht als beweiskräftig, aus folgenden Gründen: Es gelingt kaum, die verschiedenen Theile des zu untersuchenden Drahtes so gleichmässig herzustellen, und die übrigen Contactstellen des Stromkreises so vollkommen gegen ungleichmässige Erwärmung zu schützen, dass der Strom vor Beginn der Spannung absolut Null ist. Aber selbst wenn es

erreicht wird, bleibt fraglich, ob diese Bedingungen auch noch erfüllt sind zu der Zeit, wo der Effect der permanenten Deformation beobachtet wird; — und eine Wiederholung an demselben Material schliesst der Gegenstand selbst aus. Dazu kommt, dass in Folge der permanenten Dehnung der Contact, je nachdem er durch Quecksilber oder durch Loth hergestellt ist, entweder seine Lage längs des gespannten Drahtes, oder die in der Heizvorrichtung ändert. — Für die graphische Darstellung folgt daraus, dass in jeder Figur die Lage des wahren Nullpunktes der Ordinaten unbekannt ist, und folglich die der verschiedenen Curven zu einander.

Das Bild der Erscheinungen hingegen, welches die einzelne Curve für sich giebt, leidet nur noch an den folgenden Ungenauigkeiten, die von geringer Bedeutung sind:

Bei der Schnelligkeit, mit welcher die Curven Richtung und Krümmung ändern, können die gezeichneten Linienzüge nur als eine rohe Interpolation des wahren Verlaufes gelten. Eine durch die vorgeschriebenen Punkte gelegte wirkliche Curve würde nur den reinen Ausdruck der Beobachtungen getrübt haben, ohne die Wahrscheinlichkeit einer grösseren Annäherung zu gewähren. Gegen bedeutendere Fehler, — wie sie etwa in den Fig. 2a und 2b durch den directen Uebergang von der Spannung 0 zu 10 entstanden wären — suchte man sich selbstverständlich durch probeweise eingeschaltete Zwischenbeobachtungen zu schützen. —

In den definitiven Versuchsreihen selbst die Beobachtungen dichter an einander zu drängen, erschien nicht räthlich, da hierdurch die für eine vollständige Reihe erforderliche Zeit und somit der Einfluss der zufälligen Störungen vergrössert worden wäre. —

Einen Massstab für die Höhe der Letzteren geben die Differenzen zwischen den entsprechenden Beobachtungen auf einander folgender Reihen, oder, wo nur eine Reihe vorliegt, die Genauigkeit, mit welcher bei der Rückkehr zum Ausgangspunkt der erste Ausschlag wieder erreicht wird. Zeigten sich hier erhebliche Abweichungen, so wurden die betreffenden Versuche verworfen; andernfalls sind dieselben uncorrigirt in die Zeichnungen aufgenommen. Man wird bemerken, dass, wie man sich auch die Entstehung der Differenz über die einzelnen Beobachtungen vertheilt denken mag, der Character der Figur dadurch nicht beeinflusst wird.

Endlich kann — aus dem pag. 8 angeführten Grunde — in den Curven, welche Beobachtungen mit Hebel und Schraube darstellen, der Spannung 0, aber auch nur dieser, eine falsche Abscisse zugewiesen sein; die wahre Abscisse liegt dann aber nothwendig zwischen 0 und der ersten beobachteten Spannung (1, resp. 2 oder 4). Dass die so begangenen Fehler sehr gering sind, beweist überdies der Vergleich mit den entsprechenden, auf andere Weise erhaltenen Curven 2a, 2b, 5b. —

Alle hier aufgeführten Umstände würden einer quantitativen Untersuchung hinderlich sein, lassen aber das Wesen der beobachteten Erscheinungen unangetastet. —

Ich gehe nun zu den Versuchen über, die angestellt wurden, um etwaige unbekannte Fehlerquellen aufzufinden, resp. die beobachteten Thatsachen auf bekannte Gesetze zurückzuführen.

Zunächst ergiebt sich aus dem bereits Mitgetheilten, dass die Methode, nach welcher die Spannungen hergestellt und gemessen wurden, sowie die Anordnung der Contacte ohne Einfluss ist. — Sodann konnte, — nachdem die pag. 9 besprochene Versuchsanordnung verlassen war — von irgend einer Trägheit oder Reibung im Apparat nicht wohl mehr die Rede sein. Bei der verticalen Aufhängung war der Draht vollkommen frei; bei der Spannung mittelst Hebel und Schraube wurden direct die Längen der Drähte beobachtet. Eine derartige Fehlerquelle hätte überdies nur eine Abweichung des absteigenden Zweiges nach der Seite der grösseren Spannungen hin veranlassen, und somit einen Theil der Erscheinungen erklären können, die an den weichen Drähten beobachtet wurden.

Auch in einer Zähigkeit des Drahtes selbst, ähnlich der, welche die elastische Nachwirkung bedingt, konnte die Ursache nicht gesucht werden. Dagegen sprach einmal wiederum der Sinn der Abweichung bei den harten Drähten, andererseits ihre völlige Unabhängigkeit von der

Zeit. — Dieselbe wurde wiederholt bei verschiedenem Material und verschiedenen Arten der Spannung constatirt.

Hier ein Beispiel. Dasselbe ist am Schluss einer Beobachtungsreihe enthalten, die hier vollständig angeführt wird, weil sie geeignet ist, allgemein die Abhängigkeit des Stromes von der vorhergegangenen Belastung nochmals — und zwar besonders deutlich — zu zeigen. Es wurde nämlich nur bei einer Spannung beobachtet (dieselbe befindet sich am Kopf der Tabelle); zwischen je zwei Beobachtungen dagegen der Draht derjenigen abweichenden Spannung unterworfen, welche die erste Spalte anzeigt.

Harter Eisendraht, vertical. Belastung 5 kg.

Vorhergegangene Belastung in kg	Stand der Nadel.	Zeit der Beobachtung.	Ruhelage der Nadel.
25	202		
0	217.5		
10	207.5		
0	219		
15	204		
0	218		
20	204		
0	218.5		
25	203	1h 20m	213
	213.5	3h 15m	224
0	229		

Von $1^h\ 20^m$ bis $3^h\ 15^m$ hatte der Draht, ohne berührt zu werden, 5 kg getragen. Wie man sieht, hatte sich in der Zwischenzeit die Ruhelage der Nadel (bei geöffnetem Stromkreise) und

damit die Angabe für „5 kg bei vorangegangener Belastung mit 25 kg“ um 11 Scalentheile verlegt. Eine momentane Entlastung brachte aber sofort die frühere Differenz von 15.5 Scalentheilen hervor. —

Von Interesse mag noch die folgende Beobachtungsreihe sein, die sich auf denselben Eisendraht bezieht.

Spannung 4.

Vorherige Spannung	Stand der Nadel.
7	209
6	209.3
5	209.2
3	195.3
2	190.7
1	189.5
0	189.5
1	—
2	189.5
3	189.5
5	203.5
6	209
7	210.2

Sie zeigt, dass, solange man nach höheren Spannungen nicht unter die actuelle Spannung (4) hinabgeht, nur die höchste vorangegangene Spannung (7) massgebend ist; — und umgekehrt nur die niedrigste (0), solange man die actuelle Spannung nach vorangegangenen geringeren Spannungen nicht überschreitet. —

Auch von der Zeit, während welcher der Draht der höheren Spannung ausgesetzt war, ist die beobachtete Differenz unabhängig. Stets

bewirkt eine momentane Entlastung (oder Verringerung der Belastung) eine veränderte Einstellung im angegebenen Sinne. Sind zum Spannen Gewichte benutzt, so genügt es, dieselben für einen Augenblick mit der Hand zu unterstützen, um, nachdem man die Hand zurückgezogen, den Ausschlag zu erhalten, der einer vorhergegangenen Entlastung entspricht. —

Um zu erkennen, ob etwa die vorangegangenen Ströme selbst von irgend welchem Einfluss seien, wurde eine Beobachtungsreihe gemacht, bei welcher während jeder Spannung oder Abspannung der Stromkreis geöffnet war. Es ist die zweite der oben (pag. 11) unter Ia angeführten Reihen, während die erste, wie sonst, bei stets geschlossenem Kreise ausgeführt wurde. Beide zeigen die beste Uebereinstimmung. —

Eine Beeinflussung der Beobachtungen im Allgemeinen hätte ferner stattfinden können durch eine Erwärmung beim Spannen. Dieser Einfluss verschwand, wenn vorhanden, jedenfalls in kürzester Zeit; denn die Nadel nahm nach wenigen Schwingungen eine feste Stellung ein, in der sie, unter sonst günstigen Umständen, während 5 Minuten fest verharrte.

Die Aenderung des Leitungswiderstandes konnte sich, selbst wenn sie bis zu mehreren Procent des Betrages anstieg, nicht wohl bemerklich machen, da der ganze Widerstand des gespannten Drahtes nur einen sehr kleinen Theil vom Gesammtwiderstand des Stromkreises ausmachte. — Es wurde gleichwohl eine besondere

Untersuchung dieses Gegenstandes — an hartem Eisendraht — unternommen, in der Hoffnung, irgend welche Analogieen mit den für die Thermoströme beobachteten Thatsachen aufzufinden. Es ergab sich bei steigenden Spannungen eine gleichförmige Zunahme des Widerstandes, und zwar in einem höheren Betrage, als die Verlängerung des Drahtes und die damit verbundene Quercontraction (das Verhältniss beider = $^1/_3$ gesetzt) für sich allein bewirken mussten*), — aber keine Spur einer Abhängigkeit von dem vorhergegangenen Zustand stärkerer oder geringerer Spannung. —

Alle im Vorangehenden angeführten Versuche, eine Beziehung zwischen den beobachteten Thatsachen und irgend welchen anderen Eigenschaften der untersuchten Materialien aufzufinden, ergaben rein negative Resultate. — Etwas anderes gilt von einer letzten Classe derartiger Versuche, die daher einer ausführlicheren Besprechung bedarf. — Es musste auffallen, dass die Erscheinung, die oben als Divergenz des aufsteigenden und des absteigenden Zweiges bezeichnet ist, vorzugsweise — oder, wenn man die den Palladiumdraht betreffenden Beobachtungen nicht als beweiskräftig ansieht, ausschliesslich — bei denjenigen Metallen, Eisen und Stahl, sich zeigt, welche in hervorragender Weise der magnetischen Erregung fähig sind. Nun ist bekannt — u. A. aus Versuchen von

*) Wie bereits von Mousson beobachtet wurde; vergl. Wiedemann. Galvanismus I., § 207.

Thomson*) — dass das thermo-electrische Verhalten des Eisens durch Magnetisirung geändert wird; — andererseits wird durch Dehnung das magnetische Moment eines Eisen- oder Stahlstabes beeinflusst. Letzteres kann in zweierlei Weise geschehen: Zunächst kann auch der unmagnetische Stab oder Draht, wenn er sich unter der Einwirkung äusserer magnetischer Kräfte befindet, durch die mit dem An- und Abspannen verbundenen Erschütterungen magnetisch werden. Es fand sich jedoch, dass derartige Einwirkungen für die vorliegende Untersuchung nicht in Betracht kamen: Versuche, in denen der Draht ceteris paribus parallel und senkrecht zum magnetischen Meridian gestellt wurde, ergaben völlig identische Resultate. — Es blieb die zweite Möglichkeit, dass die Drähte bereits beim Beginn des Versuches magnetisch waren, und dass — gemäss den Beobachtungen von Matteucci, Wertheim, Villari**) — das magnetische Moment derselben einzig und allein durch die Spannungen und Entspannungen geändert wurde. Dass dies in der That der Fall war, zeigten die — wenngleich meistens sehr schwachen — Inductionsströme, die beim plötzlichen Be- oder Entlasten in einer übergeschobenen Spirale entstanden. Es ergab sich daher die Frage: ob die beobachtete Divergenz zur Voraussetzung habe, dass der untersuchte Draht — von vorn herein — magnetisch sei, und ob diese auffällige

*) On the electro-dynamic qualities of metals, § 134 ff.

**) Vergl. Wiedemann, Galvanismus II., § 499.

thermo-electrische Erscheinung jedesmal von entsprechenden Aenderungen des magnetischen Verhaltens begleitet sei. —

Eine Antwort auf den letzteren Theil der Frage hätte nur aus einer quantitativen Untersuchung der Veränderungen gewonnen werden können, die das magnetische Moment eines Drahtes durch seine Dehnung erleidet. Eine solche erschien aussichtlos. —

Zu einer negativen Entscheidung wäre es ferner hinreichend gewesen, die erwähnte Divergenz an einem unmagnetischen Material nachzuweisen. Dies in völlig befriedigender Weise zu thun, ist nicht gelungen. Die Divergenz wurde, ausser bei Eisen und Stahl nur noch bei Palladium beobachtet, und dort ist sie, wie die Zahlen pag. 21 zeigen, äusserst klein. — Eisendrähte selbst in unmagnetischem Zustande herzustellen und zu untersuchen, zeigte sich unausführbar. Selbst frisch ausgeglühte und mit grösster Vorsicht in den Apparat eingefügte Drähte erwiesen sich beim Spannen als magnetisch. —

Ist somit ein directer Beweis für oder wider die Annahme, dass die beobachteten Erscheinungen wesentlich durch gleichzeitige Aenderungen des magnetischen Moments bedingt seien, nicht erbracht, so sind doch Anzeichen vorhanden, die gegen eine solche enge Verknüpfung beider Vorgänge zu sprechen scheinen.

Zunächst ist zu bemerken, dass die Aenderungen des magnetischen Moments durch

Zug — gemessen durch die erzeugten Inductionsströme — bei Stücken des gleichen Materials, und bei gleich starker und thunlichst gleich schneller Belastung in den weitesten Grenzen schwankten; — im Gegensatz dazu zeichnen sich die thermo-electrischen Erscheinungen, wie oben gezeigt, durch vollendete Regelmässigkeit aus. —

Sodann würde man, wollte man einen solchen Zusammenhang statuiren, annehmen müssen, dass das thermo-electrische Verhalten eine ungemein feine Probe auf jede Aenderung des magnetischen Zustandes sei, — weit empfindlicher, als irgend eine bekannte Methode sie liefert. Diese Annahme wäre im Widerspruch mit directen hierüber angestellten Versuchen: Stücke der früher untersuchten Drähte wurden in der oben beschriebenen Art gespannt und entspannt, und die entstehenden Thermoströme beobachtet. Sodann wurden sie im Apparat selbst der Einwirkung von permanenten Magneten oder von Magnetisirungsspiralen, durch welche ein starker Strom floss, unterworfen, und theils während der Einwirkung der magnetisirenden Kräfte, theils nach Aufhebung derselben von Neuem untersucht. — Hierbei zeigte harter Stahldraht keine merklichen Veränderungen, selbst nachdem er bis zu dem Grade magnetisirt war, dass die Pole — der eine unmittelbar neben der erhitzten Contactstelle — durch aufgestreute Eisenfeile sichtbar gemacht werden konnten. — Weicher Eisendraht, neben den —

die Pole den Contactstellen gegenüber — in abwechselnden Versuchen 2 kräftige Stabmagnete gelegt wurden, gab die folgenden Resultate:

x	y					
	0	1	0	0	1	0
10	29.5	20	30	29	20	28.5
11	37	28	37	37	28	36
12	25	23	24	24	20	22.5
13	4	6	5	5	4	2.5
14	0	0	0	0	0	0
13	—2	—2	0	—2	—0.5	—1.5
12	8	4	5	2.5	3	3.5
11	25	17	26	22	17	22.5
10	29	20.5	30	28	19	28.5

Der Index über jeder Spalte giebt an, ob die Magnete sich neben dem Draht befanden (1), oder entfernt waren (0). Zur bequemeren Vergleichung — die Nähe der Magnete änderte die Ruhelage des Galvanometers — sind alle Beobachtungsreihen auf denselben Nullpunkt reducirt. — Wie zu erwarten war, hat die Magnetisirung das thermo-electrische Verhalten geändert; aber gerade die Differenzen zwischen den Zahlen des aufsteigenden und des absteigenden Zweiges sind davon nicht berührt worden. Dieselben sind in der folgenden Tabelle nochmals aufgeführt:

	0	1	0	0	1	0
11	12	11	11	15	11	13.5
12	17	19	19	21.5	17	19
13	6	8	5	7	4.5	4

Erst als der Draht mit Hülfe einer Spirale und 4 grosser Bunsen'scher Elemente magne-

tisirt wurde, ergab sich ein völlig veränderter Verlauf der Erscheinungen. —

Ein sicheres Urtheil darüber, welche Bedeutung auf dem hier behandelten Gebiete den magnetischen Eigenschaften der Metalle zukommt, werden erst spätere Untersuchungen gewähren können. Nach den bisherigen Beobachtungen muss als möglich die Annahme zugelassen werden, dass die beschriebenen thermo-electrischen Erscheinungen nur bei vorgängig magnetisirten Drähten auftreten. In die Zusammenfassungen der Beobachtungen ist eine hierauf bezügliche Clausel nur der Kürze wegen nicht aufgenommen.

Wie bereits pag. 24 ausgesprochen wurde, folgt aus den Versuchen, dass Drähte von gleichem Material, durch gleiche Gewichte gespannt, die seit ihrer letzten Entspannung verschieden hohen Spannungen ausgesetzt waren, ein Thermo-Element bilden, in welchem der Strom von vorher schwächer gespannten zum vorher stärker gespannten Drahte fliesst. Dieses Resultat wurde durch einige directe Versuche an harten und weichen Eisendrähten bestätigt. — Es diente dazu die folgende Modification der früheren Versuchsanordnung (s. Fig. B): Zwei Drähte λ und ϱ der betreffenden Substanz hingen vertical neben einander, jedoch ohne sich zu berühren. Sie waren an einer Stelle von einer Heizvorrichtung k, wie sie oben beschrieben, umgeben. Innerhalb derselben wurde der Contact durch

eine kurze Quecksilbersäule vermittelt. Die Letztere ruhte auf einem eingeschobenen Kork, durch welchen die Drähte hindurchgingen. Die Spannung geschah durch angehängte Gewichte. Etwa $^1/_2$ m oberhalb der Heizvorrichtung waren Drähte von demselben Material angelöthet, die in der früher angegebenen Weise die Verbindung mit dem Galvanometer herstellten. — Beide Drähte (λ und ϱ) waren während der Beobachtungen mit gleichen Gewichten belastet; vor jeder Beobachtung erhielt einer derselben entweder durch ein hinzugefügtes und sofort wieder entferntes Gewicht eine vorübergehende Mehrbelastung, oder er wurde durch Unterstützung mit der Hand für einen Moment entlastet. — Nachstehende Versuchsreihen zeigen das Schema der Beobachtungen.

Ausgeglühter Eisendraht.

Belastung 4 kg. — Stromkreis offen: 212.

Vorhergegangene Belastung in kg.		Ausschlag des Galvanometer.			
λ	ϱ				nach $^1/_2$ Stunde.
9	9	227	226	226	226
0	9	212	212		211
0	0	225	226		225
9	0	239	239		241

Grössere Zahlen bedeuten einen Strom von ϱ durch das Quecksilber nach λ. — Die Ausschläge für (9,9) und (0,0) sind, wie es der Fall sein musste, gleich; dass sie nicht mit der Ruhelage (212) zusammenfallen, erklärt sich aus einer Ungleichheit der beiden Drähte, die nach dem Ausglühen zur Herstellung einer leitenden Ober-

fläche mit Schmirgelpapier abgerieben werden mussten. — Von diesem mittleren Ausschlag weichen diejenigen für (0,9) und (9,0) um gleich viel nach beiden Seiten ab, und zwar in dem verlangten Sinn. —

Wenn man für erwiesen hält, dass die im Vorstehenden dargelegten Erscheinungen nicht durch Zufälligkeiten der Versuchsanordnung oder der Beobachtungsmethode, sondern durch die Eigenschaften des untersuchten Materials selbst veranlasst sind, und wenn man ferner annimmt, dass dieselben nicht durch magnetische Eigenschaften des Letzteren bedingt sind, — so wird man sie in allgemeinster Fassung folgendermassen beschreiben können:

„Ein gespannter Draht verhält sich — ceteris paribus — verschieden, je nachdem er vorher schwächer oder stärker gespannt war, und diese Verschiedenheit dauert bis zur nächsten Aenderung der Spannung.“ —

In dieser Allgemeinheit formulirt, finden sich die Ergebnisse der Untersuchung in Uebereinstimmung mit Beobachtungen von W. Thomson über Torsionsschwingungen gespannter Drähte, deren kurze Beschreibung ich hier im Wortlaut des Originals folgen lasse:

To investigate the viscosity of metals*), I have in the first place taken them in the form of round wires, and have chosen torsional vibra-

---

*) On the elasticity and viscosity of metals. Phil. mag. (IV.), vol. 30, pag. 64.

tions, after the manner of Coulomb, for observation . . . In every case one end of the wire was attached to a rigid vibrator with sufficient firmness, ... and the other to a fixed rigid body, from which the wire hangs, bearing the vibrator at its lower end. I arranged sets of observations to be made for the separate comparisons of the following classes:

— — — — — — — — — — —

c) The same wire and the same vibrator, but different initial ranges in successive experiments, — to test an effect unexpectedly discovered, by which the subsidence of vibrations from any amplitude takes place at very different rates according to the immediately previous molecular condition, whether of quiescence or of recurring change of shape through a wider range.

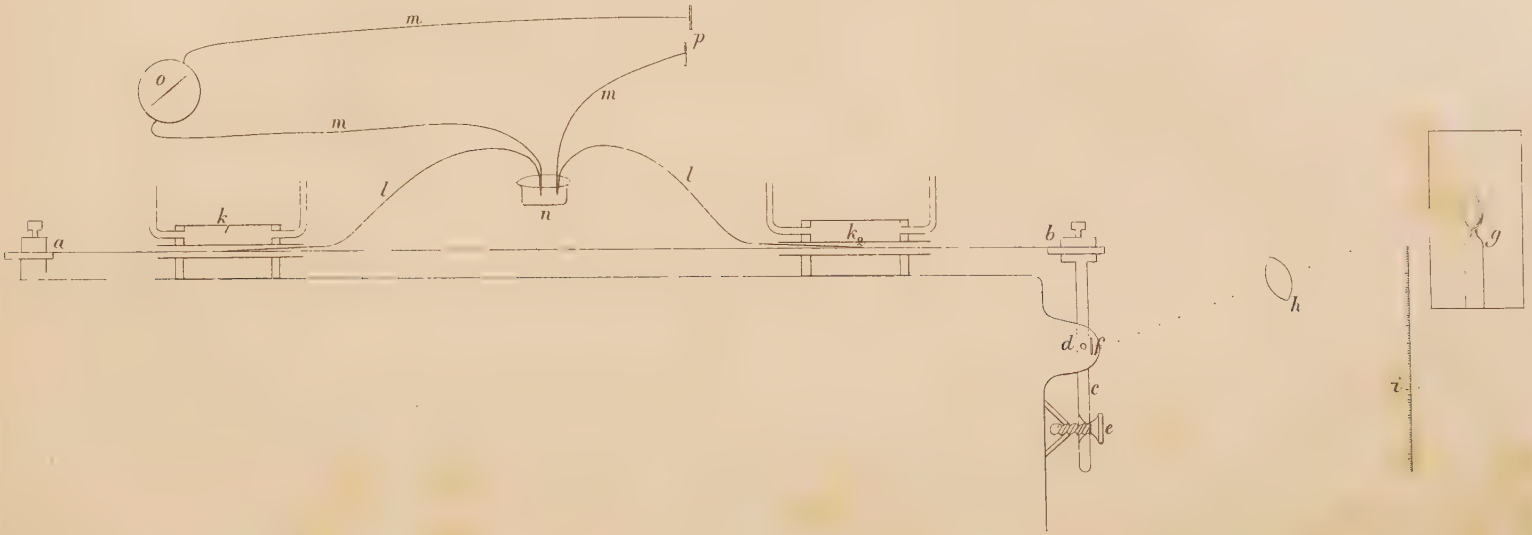
Die mitgetheilten Beobachtungen beziehen sich auf Aluminiumdraht. —

Andere Beobachtungen, die sich in irgend einen Zusammenhang mit den meinigen bringen lassen, sind mir nicht bekannt*).

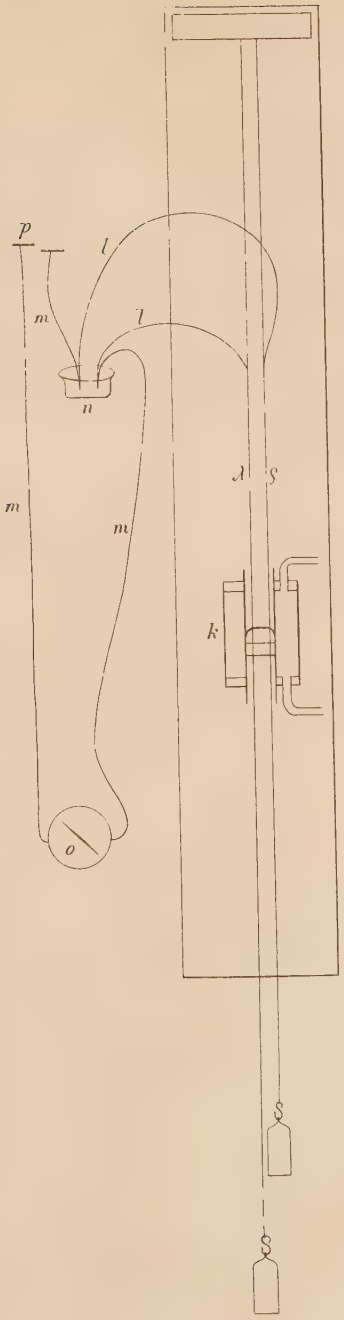
*) Nach dem Abschlusse der vorliegenden Untersuchung habe ich aus einem gleichlautenden Referat in den Chemical News vom 22. März und der Nature vom 25. April ersehen, dass am 16. März dieses Jahres vor der Physical society in London eine Abhandlung von v. Tunzelmann verlesen ist, die den gleichen Gegenstand behandelt. In welcher Beziehung die Ergebnisse derselben zu den hier mitgetheilten stehen, habe ich aus jener kurzen Inhaltsangabe, die bisher allein vorliegt, nicht entnehmen können. —

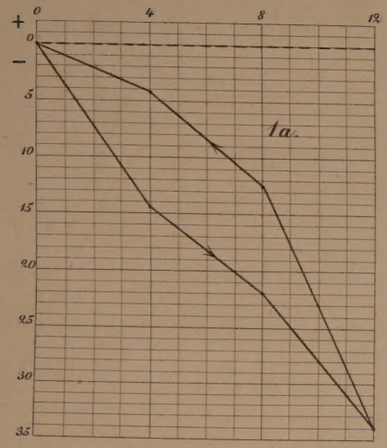
Druckfehler-Berichtigung: Seite 15, 3. Reihe, Zeile 8 von oben statt 113 lies 213.

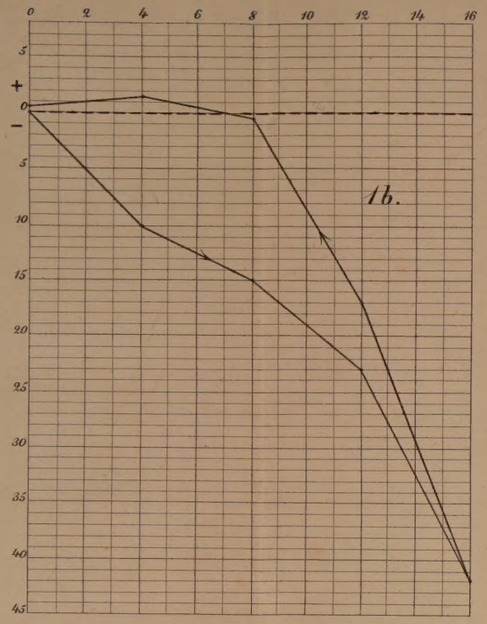
A.

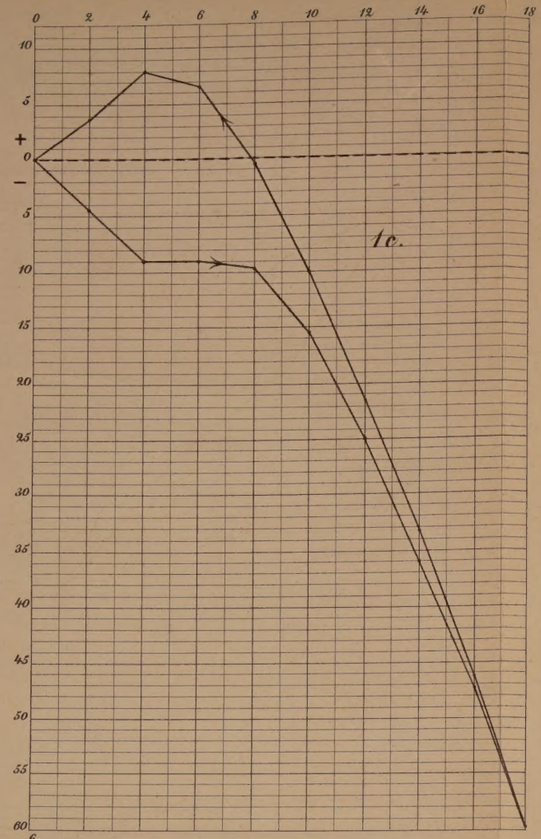


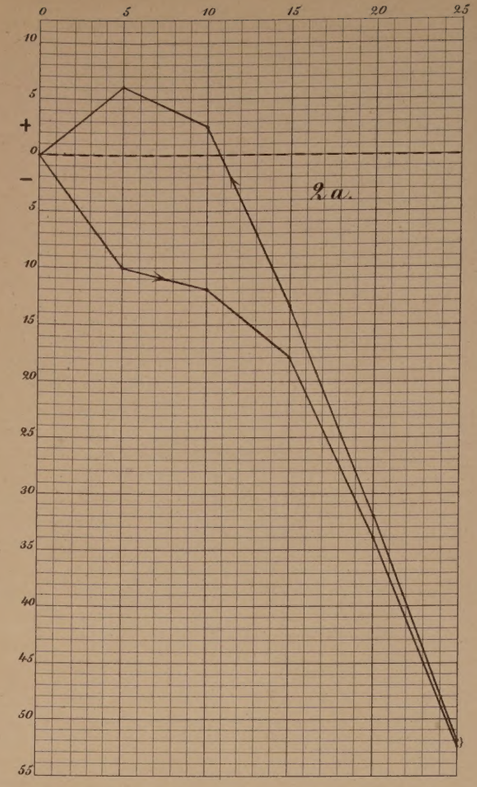
B.

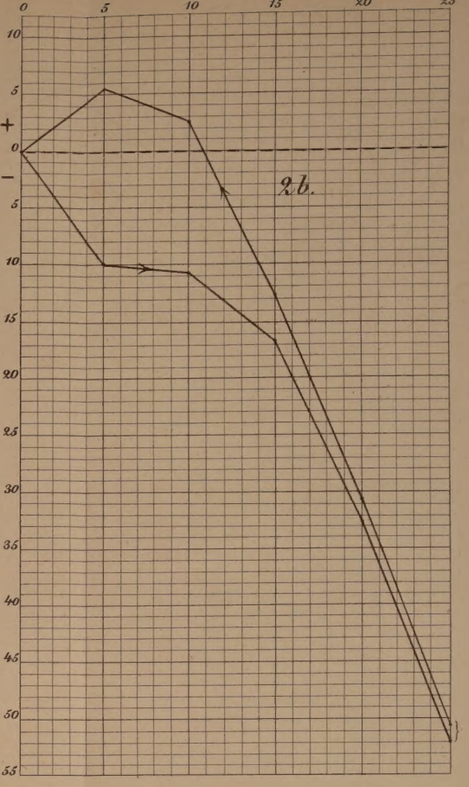


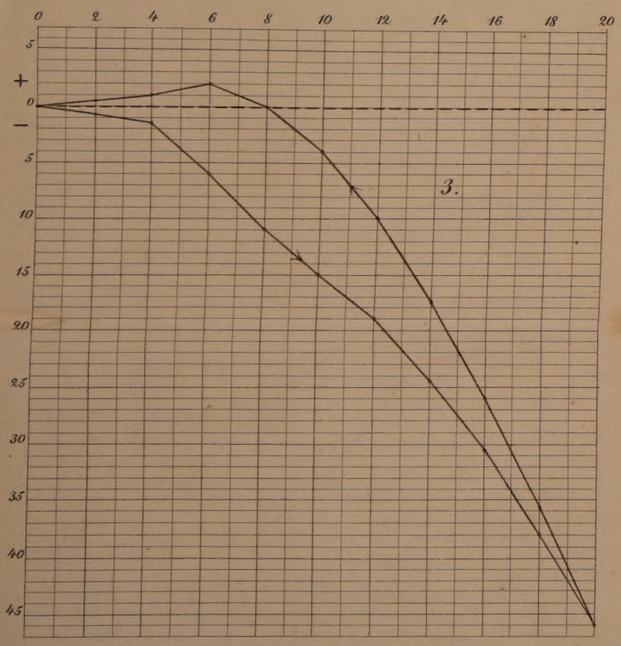

1a.

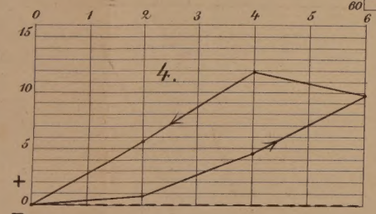

1b.

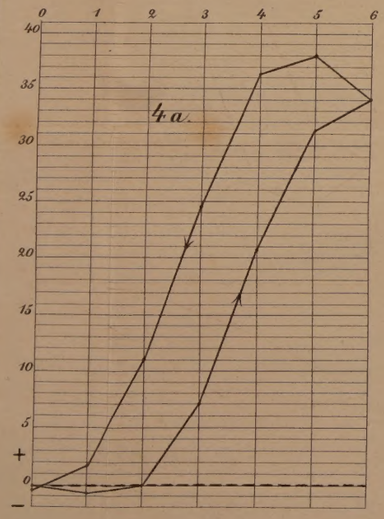

1c.

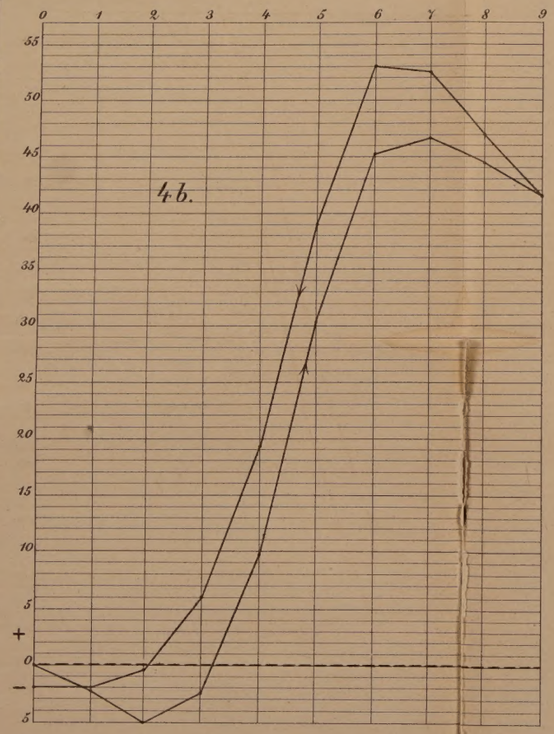

2a.

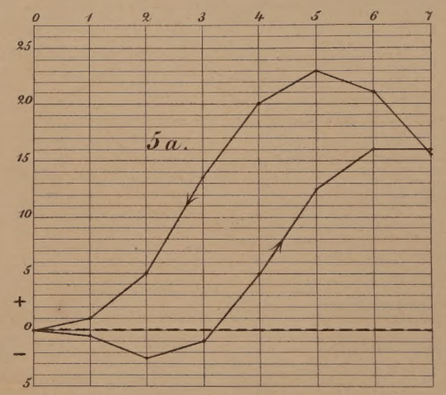

2b.

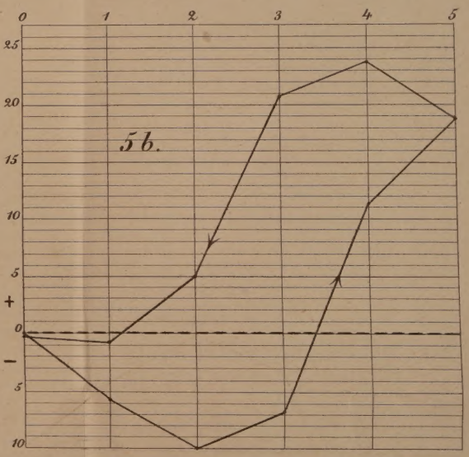

3.

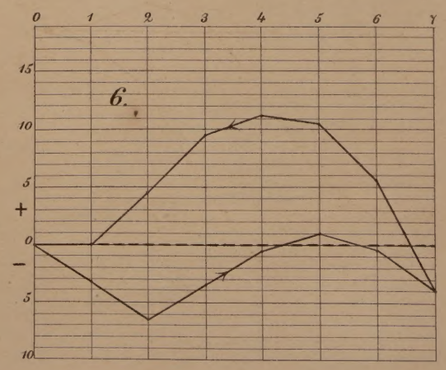

4.


4a.


4b.


5a.


5b.


6.